

LA
TRAVERSÉE DU SIMPLON

PAR UN
CHEMIN DE FER A CRÉMAILLÈRE

PAR
J. CHAPPUIS
INGÉNIEUR

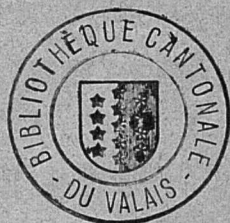
Extrait du *Bulletin de la Société vaudoise
des ingénieurs et des architectes.*

LAUSANNE
IMPRIMERIE GEORGES BRIDEL & C^{ie}

—
1893

PA

1495



2938

Bibl. cant. VS Kantonsbibl.



1010020787

PA 1495

LA
TRAVERSÉE DU SIMPLON

PAR UN
CHEMIN DE FER A CRÉMAILLÈRE

PAR
J. CHAPPUIS
INGÉNIEUR.

Extrait du *Bulletin de la Société vaudoise
des ingénieurs et des architectes.*



LAUSANNE
IMPRIMERIE GEORGES BRIDEL & C^{ie}

—
1893

PA 1495

LA TRAVERSÉE DU SIMPLON

PAR UN

CHEMIN DE FER A CRÉMAILLÈRE¹

I. Historique des divers tracés de passage par chemin de fer.

Ensuite des conférences faites dans le temps devant vous par notre regretté collègue et ami M. Jean Meyer ingénieur en chef de la Compagnie du Jura-Simplon, vous êtes au courant de tous les nombreux projets de traversée du Simplon faits jusqu'à ce jour ; je serai donc bref pour ce qui concerne l'historique de la question.

Les nombreux projets de passage du Simplon peuvent se grouper en 3 catégories :

1. Passages par *dessus le col du Simplon* ou supérieurs.
2. Passages par un *tunnel dit de faite* ou intermédiaires.
3. Passages par un *tunnel de base* ou inférieurs.

1. *Première catégorie.* — M. Eugène Flachet a étudié en 1860 un projet de passage du Simplon avec rampes d'accès atteignant le 60 ‰ et avec un matériel spécial. La locomotive très puissante travaillait comme locomotive ordinaire ; elle fournissait en outre de la vapeur à tous les véhicules du train,

¹ Conférence faite à Lausanne en séance publique de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes le 12 décembre 1892.

lesquels portaient chacun des pistons et tout un mécanisme de locomotion. L'avantage du système était d'avoir, comme poids adhérent, tout le poids du train, et l'inconvénient était une très grande complication dans l'exploitation avec un matériel spécial.

M. Thouvenot proposa de profiter du poids adhérent du train en accouplant les wagons à la locomotive à l'aide de chaînes Gall au lieu de les armer de cylindres. C'était déjà une simplification.

L'étude des frais d'exploitation et des difficultés du matériel fit promptement renoncer à l'exécution de ces projets.

Deuxième catégorie. — M. Jaquemin, en 1862, chercha à diminuer les inconvénients des tracés par le col en étudiant un tunnel de 2000 m. à l'altitude de 1709 m. à 1770 m. Puis il modifia ce projet pour arriver à des pentes ne dépassant pas le 35 ‰ et pour cela traversait le massif du Simplon à la hauteur de Grund par un tunnel de 11 km. à la cote 1215 et 1300.

Le devis de M. Jaquemin pour la traversée du Simplon avec tunnel de 11 km. était de 51 400 000 francs.

La Compagnie de la Ligne d'Italie fit étudier par ses ingénieurs Pierron de Mondésir et Lehaitre, en 1863, un projet comportant une exploitation sans transbordements, des courbes de 200 m. de plus petit rayon et des rampes ne dépassant pas 40 ‰.

Ce tracé est à rebroussements ; il traverse la montagne par un tunnel de 4653 m. aux altitudes 1680 et 1700. Le devis était de 72 millions de francs.

Troisième catégorie : Tunnels de base. — Le premier projet de tunnel se rapprochant de la base de la montagne fut celui de MM. Clo et Venetz en 1857. Ce tracé s'élève par des pentes ne dépassant pas le 30 ‰ à l'altitude 1068 ; traverse le massif du Simplon par un tunnel de 12 200 m., débouchant à la cote 1010 un peu en aval de la galerie de Gondo et redescend avec des pentes de 30 ‰. Sa longueur de Brigue

à Domo est de 51 km. Il était devisé à 73 820 000 francs, non compris le service des intérêts pendant la construction.

M. Vauthier, ingénieur en chef de la Ligne d'Italie, proposa, en 1860, un tunnel percé à la base de la montagne ; son tracé partait de Gliss pour s'élever par des rampes de 20 ‰ presque au pont Napoléon à l'altitude 743, où se trouvait la tête nord d'un souterrain de 18 220 m. débouchant à Iselle, à la cote 625. De là la ligne descend à Domo avec des pentes ne dépassant pas le 24 ‰.

En 1864, M. Lommel présenta un tracé très analogue à celui de M. Vauthier, la longueur de son souterrain était de 17 500 mètres.

Dans l'année 1869, M. Stockalper proposa une nouvelle variante analogue des projets de MM. Vauthier et Lommel. Son tunnel est réduit à 16 150 m. ; la tête nord se trouve dans les gorges de la Saltine à la cote 771 m. et la tête sud près de Gondo à la cote 790 m. — Les pentes maxima sont de 15 ‰ sur le versant suisse et de 25 ‰ sur le versant italien. Le devis ascendait à 77 540 000 francs.

M. Favre, en 1875, fit un projet pour entrer en tunnel à la cote 680 m., au delà de Brigue. Ce tunnel de 19 850 m. débouchait à Iselle à la cote 644^m50. D'Iselle la ligne descendait à Domo avec des pentes ne dépassant pas le 15 ‰. L'estimation est de 82 300 000 francs.

En 1878, la Compagnie du Simplon réorganisée chargeait son directeur-technique, M. Lommel, de faire une nouvelle étude. Le tracé choisi part de Gliss avec une rampe de 11 ‰ ; passe la Saltine, entre en souterrain à la cote 711, pour en ressortir après 18 507 m. à Iselle à la cote 687 et de là descendre à Domo avec une pente continue ne dépassant pas le 23,7 ‰.

Après la fusion de la Compagnie du Simplon avec celle de la Suisse-Occidentale, en 1882, M. Meyer ingénieur en chef des compagnies fusionnées reprit l'étude du Simplon. — M. Meyer conserve Brigue comme gare internationale et entre

en tunnel à la cote 689 à 2 $\frac{1}{2}$ km. de Brigue. Son tunnel de 20 km. de longueur débouche au-dessous d'Iselle à la cote 628 ; de là M. Meyer a étudié plusieurs tracés différents pour aboutir soit à Domo soit à Piédimulera.

Le devis de M. Meyer de Brigue à Domo était de 94 428 000 francs.

Sur la demande des cantons romands intéressés au passage du Simplon par un chemin de fer, une commission d'experts composée de MM. Polonceau, Doppler, Huber et Dumur présente, en 1886, le tracé dit des experts avec un tunnel coudé de 16 070 m. à l'altitude de 820 m. raccordé à Viège par une rampe de 20 ‰ sur 8190 m. et à Domo par une rampe de 25 mm. Le devis de ce tracé des experts ascendait à 62 319 600 francs non compris les intérêts intercalaires.

Enfin depuis la fusion des Compagnies Suisse-Occidentale-Simplon et Jura-Berne-Lucerne, M. l'ingénieur Dumur, un des directeurs de la compagnie fusionnée, a fait étudier un nouveau tracé avec tunnel de 19 731 m. dont la tête nord est à 687 m. et la tête sud à 634 m. d'altitude. — Tracé du Jura-Simplon 1891. Les pentes de Domo à Iselle ne dépassent pas le 22 ‰ Le devis de la partie suisse est de 80 millions. La dépense totale de Brigue à Domo atteindrait 90 millions.

II. Projet Masson (1892), chemin de fer à crémaillère avec traction à vapeur.

Le projet proposé par M. Ch. Masson à Lausanne rentre dans la catégorie des passages intermédiaires, c'est-à-dire traversant le massif de la montagne entre la base et le col. Ce projet est basé sur des données complètement différentes de celles de tous les projets étudiés jusqu'à ce jour. Il gravit en effet les flancs de la montagne à l'aide de pentes qui atteignent le 60 ‰ et supplée à l'adhérence simple des moteurs à l'aide de *crémaillères* dès que les pentes dépassent le 20 ‰.

Dans l'avant-projet de M. Masson le tracé se détache entre Viège et Brigue de la ligne Jura-Simplon, à *Gamsen*, où serait construite la gare internationale vers la cote 666 m. ; il s'élève sur les flancs de la montagne par une voie en rampe et armée d'une crémaillère, traverse la Saltine au pont Napoléon, continue à s'élever en se développant sur le Brigerberg jusqu'au delà de Thermen, puis longe la grande route jusqu'au pont en dessous de Bérissal où se trouve l'entrée d'un souterrain de 8500 m. environ de longueur à la cote 1500 m. environ. Ce tunnel débouche à Campo, au haut de la vallée de la Cairasca, à la cote 1450 m. environ ; les déclivités dans l'intérieur du souterrain sont projetées à 4 ‰ sur la rampe nord et à 15 ‰ sur la rampe sud. De Campo la ligne descend la vallée de la Cairasca par des pentes dont la voie est armée de crémaillères, passe à Varzo et à Crévola et atteint la gare actuelle de Domo, à la cote 277 m.

Le tracé de cet avant-projet est susceptible de modifications et une étude définitive y apportera certainement des améliorations. Il paraît entre autres possible de conserver la gare actuelle de Brigue et sitôt après avoir traversé la route de Brigue à la Furka, de s'élever le long des flancs du Brigerberg pour atteindre le plateau de Thermen à la cote 920 environ.

De Thermen la ligne continuerait à s'élever jusqu'au pont en-dessous Bérissal où la tête du tunnel serait descendue à peu près au niveau du pont de la route vers la cote 1410 ; le tunnel serait allongé de 3 à 400 m. qui seraient percés le long des flancs de la Saltine et déboucherait dans la plaine de Campo vers la cote 1360 environ ; de là le tracé descendrait les flancs de la vallée de la Cairasca et de la Diveria jusqu'à Domo.

Pour l'étude de ce projet on a simplement admis les données techniques du chemin de fer de Blankenburg à Tanne dans le Hartz (*Halberstadt-Blankenburger Eisenbahn*). Ces données sont :

Rampes ne dépassant pas 60 ‰.

Rayons minimum des courbes 200 m.

Locomotives pouvant refouler un train de 140 tonnes de poids brut, non compris la machine.

Il serait établi une gare internationale aux deux extrémités de la ligne et 8 gares intermédiaires, pour la prise d'eau et les croisements.

Ce tracé dessert les populations du plateau du Brigerberg sur le versant suisse et de la vallée de la Cairasca sur versant italien.

La dépense totale non compris les gares internationales de Gamsen, de Brigue et de Domo est devisée à 40 millions, dont 10 devraient être fournis par des subventions à fonds perdu.

L'exploitation se ferait par des locomotives mixtes (crémaillères et adhérence) analogues à celles employées sur le Hartz et qui refouleraient les trains à la montée.

La vitesse des trains directs sur les sections à crémaillère serait de 12 km. à l'heure à la montée, et 15 km. à la descente ; celle des trains omnibus de 10 km. à la montée et 12 km. à la descente et celle des trains de marchandises de 8 km. à la montée et 10 à la descente.

Les trains express pèseraient 75 tonnes, poids brut ; les trains omnibus 120 tonnes et les trains de marchandises 140 tonnes.

Les locomotives nécessaires à ce service auraient un poids de 60 tonnes environ et consommeraient environ 1800 kg. de charbon, en moyenne, pour une course de Gamsen à Domo ou Domo à Gamsen.

L'horaire des trains construits d'après ces données permet de faire passer dans chaque sens, par jour :

- 2 trains directs dédoublés.
- 3 » omnibus.
- 4 » de marchandises réguliers.
- 6 » » facultatifs.

On pourrait avec un pareil horaire, sur cette ligne à simple voie, transporter par an 125 000 voyageurs avec 510 000 places disponibles et 300 000 tonnes de marchandises.

Les frais d'exploitation basés sur ceux de la ligne du Hartz, en majorant cependant la dépense de charbon pour tenir compte des rampes plus longues, et pour un trafic annuel de 100 000 voyageurs et de 100 000 tonnes nettes de marchandises s'élèveraient à la somme de 1 075 000 francs par an.

Pour un trafic plus grand, les dépenses seraient augmentées de 3 fr. 50 environ par kilomètres de trains exécuté en plus de ceux nécessaires au trafic de 100 000 voyageurs et de 100 000 tonnes de marchandises.

La durée du parcours serait :

Trains express : Gamsen Domo	3 h. 50 m.
Domo Gamsen	4 h. 10 m.
Trains omnibus : Gamsen Domo	} 4 $\frac{1}{2}$ à 5 heures.
ou Domo Gamsen	
Trains de marchandises . . .	6 à 7 heures.

III. Projet Masson (1892), chemin de fer à crémaillère à traction électrique.

La demande de concession présentée au Conseil fédéral par M. Masson est basée sur les données qui précèdent, mais dans cette demande M. Masson s'est réservé d'étudier la traction non pas à l'aide de *locomotives à vapeur*, mais à l'aide de *locomoteurs électriques* ; cela en vue de parer entre autres aux objections sur la durée trop prolongée du parcours pour les trains de voyageurs et sur de trop fortes dépenses d'exploitation pour le transport des marchandises qu'il prévoyait pouvoir lui être faites. Cette étude de la traction électrique paraissait d'autant plus indiquée, dans le cas particulier, que la force nécessaire pour remorquer les trains sur des rampes de 60‰ est très grande et conséquemment la dépense de charbon très forte aussi et que les forces naturelles inutilisées sont abondantes soit sur le versant suisse soit sur le versant italien.

En effet les objections qui ont été présentées, dans une séance préliminaire de la commission intercantonale convoquée pour l'examen du projet Masson, ont été les suivantes :

- 1^o Durée du parcours.
- 2^o Frais d'exploitation, nécessitant des taxes élevées de transport.
- 3^o Conditions climatiques.

Je discuterai ces objections, chiffres en main, après avoir exposé la deuxième solution présentée par M. Masson ; mais je tiens à liquider dès maintenant ici un point important.

On a prétendu que les chiffres indiqués dans la demande de concession de M. Masson pour le trafic du chemin de fer Hartz étaient erronés, en ce sens qu'ils concernaient le trajet total de la ligne et non pas celui des sections à crémaillère. Renseignements pris auprès de l'administration de cette ligne voici textuellement la réponse, datée du 5 décembre 1892. de M. *Schneider* qui a construit la ligne et qui en a dirigé l'exploitation jusqu'en 1891 :

« Les 80 000 voyageurs et les 172 000 tonnes nettes de marchandises, indiquées dans mon rapport de 1890, *ont en entier passé les parties de notre ligne armées de crémaillères.* » Il ajoute : « Depuis deux années, les trains ont, sur les parties à crémaillères, un tonnage brut de 135 à 145 tonnes. La capacité de transport de notre ligne est beaucoup plus grande que le tonnage qui y passe actuellement, car nos trains ne sont en circulation que de 5 1/2 heures du matin à 11 heures du soir. Avec un service de nuit, nous pourrions facilement suffire à un trafic de 150 000 voyageurs et 300 000 tonnes nettes. La neige, très abondante dans notre région, nous gêne beaucoup plus dans les parties à adhérence que dans celles armées de crémaillères. Le système de crémaillères avec rampes modérées est le seul rationnel à ce jour pour les passages de montagnes, parce qu'il permet, avec des frais de premier établissement abordables, une capacité de trafic égale au moins, avec une

sécurité d'exploitation beaucoup plus grande que les lignes à simple adhérence avec grand développement.

» *La vitesse sur les crémaillères peut atteindre, sans aucun danger, 25 KILOMÈTRES A L'HEURE.* »

Ceci dit, reprenons la question de la traction électrique pour le projet Masson, seconde solution proposée.

M. le professeur Palaz, ingénieur, a bien voulu étudier cette question. J'extrais de son rapport les données suivantes :

1^o *Forces motrices.* Sur le versant nord les forces motrices sont très abondantes. En négligeant les torrents déjà très importants de la Massa et de la Saltine, nous trouvons sur le Rhône, à proximité du tracé, une première chute de 125 mètres entre Grengiols et Filet, permettant d'établir près de Filet une usine hydraulique d 10 800 chevaux, mesurés sur l'arbre des turbines, dans les plus basses eaux.

Nous trouvons plus haut dans la vallée, entre Lax et Grengiols, une seconde chute qui, avec une quantité minimum de 8 mètres cubes à la seconde, donne sur l'axe des turbines 11 500 chevaux de force.

Sur le versant sud, la Cairasca donne à Rosso une force de 5000 chevaux et la Divéria, captée après avoir reçu la Cairasca, donne à Crevola 2950 chevaux.

2^o *Mode de traction électrique.* L'énergie électrique produite à poste fixe est amenée à la locomotive par un système de conducteurs placés le long de la voie et avec lequel elle est en communication électrique par des pièces mobiles en contact permanent avec les conducteurs.

Le courant sera continu ; et sur la ligne sa tension sera de 1000 volts avec une perte de 15 0/0.

3^o *Vitesse des trains et leur charge.* M. Palaz admet une vitesse de 15 kilomètres à l'heure à la montée et à la descente pour les trains de voyageurs et 10 kilomètres pour les marchandises.

Pour les trains de voyageurs le poids brut du train sera de

150 tonnes, ce qui permet d'admettre pour les marchandises un train de 250 tonnes de poids brut. Tous les trains sont supposés remorqués en double traction : une locomotive en tête et une en queue ; ce qui soulage les attelages et en évite toute rupture. En outre cette disposition permet d'établir des rebroussements, sans perte de temps, puisque par une seule manœuvre du commutateur les locomotives marcheront indifféremment en avant et en arrière.

La puissance des locomotives des trains express serait sensiblement la même que celle des trains de marchandises, soit 815 chevaux avec une vitesse de marche de 15 kilomètres à l'heure et 652 chevaux avec une vitesse de 12 kilomètres, en tenant compte non seulement de l'inclinaison du tracé, mais encore des courbes de 200 m. de rayon.

Nous reproduisons ci-dessous les parties du rapport préliminaire de M. Palaz, qui traitent des points suivants :

Alimentation électrique de la ligne. Points d'alimentation. Rendement électrique. Puissance mécanique totale des usines.
Devis.

Alimentation électrique de la ligne.

« La ligne étant divisée, au point de vue des croisements, en huit sections, nous avons admis une alimentation électrique suffisante pour permettre à deux trains express, dont un de 150, l'autre de 75 tonnes, de se trouver dans la même section et pour permettre d'avoir, à la fois, deux trains express montants sur le versant nord et autant sur le versant sud, le tunnel étant, en outre, parcouru par un train, et les sections libres des deux versants, par un train descendant.

» Cette organisation du trafic est parfaitement suffisante pour satisfaire à toutes les exigences, puisqu'elle permet de faire passer sans retard des trains express de 225 tonnes en les décomposant en deux, l'un de 150, l'autre de 75 tonnes ; et même, si les crochets d'attelage sont suffisants, ces trains extraordinaires peuvent être transportés en une fois, à condition

d'avoir des locomotives d'une puissance totale de 1070 chevaux à la vitesse de 12 kilomètres. Ces cas anormaux n'ont pas à être prévus dès le début, afin de ne pas devoir construire des locomotives ayant cette puissance là ; il suffit que la ligne d'alimentation construite une fois pour toutes soit calculée de manière à avoir cette capacité.

» Quant à la traversée du tunnel, elle peut se faire à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure, ce qui exige une puissance utile de 528 chevaux pour le train de 150 tonnes et de 545 pour celui de 225 tonnes. Malgré la rareté de ce cas, nous compterons une puissance utile moyenne de 550 chevaux dans le tunnel, pour tenir compte du plus faible rendement des moteurs électriques à une vitesse plus grande que leur vitesse normale.

» En admettant qu'il y ait lieu de pouvoir fournir à un moment donné 150 chevaux aux trains descendants, il faudrait donc alimenter la ligne de façon à ce que les locomotives puissent développer une puissance totale de :

$$4.815 + 550 + 3.150 = 4260 \text{ chevaux à la vitesse de 15 km.}$$

et

$$4.652 + 550 + 3.150 = 3608 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad 12 \quad \text{»}$$

» Dans les deux cas, la ligne du tunnel est alimentée par les deux extrémités, de sorte que le versant nord doit pouvoir fournir 1995 chevaux dans le premier cas et 1729 dans le second, tandis que le versant sud en fournit, dans les mêmes conditions, 2145 et 1879. »

Points d'alimentation.

« Avant d'aller plus loin, il faut examiner de quelle manière s'effectue l'alimentation de la ligne en courant électrique. Afin de pouvoir utiliser un conducteur de faible section pour l'artère de ligne, nous l'alimentons en plusieurs points, choisis autant que possible aux croisements et le moins loin possible des usines de production du courant.

» Parmi ces points d'alimentation, deux sont indiqués par

leur position spéciale ; ce sont les têtes nord (Bérisal) et sud (Campo) du tunnel. Ces points d'alimentation s'imposent pour deux raisons.

» D'abord à cause des difficultés d'isolation de la ligne électrique dans le souterrain, par suite de l'humidité qui y règne ; la faible isolation dont il faut alors se contenter rend difficile l'alimentation de toute la ligne électrique du tunnel par une extrémité seulement.

» La seconde raison provient des conditions sous lesquelles le tunnel sera construit. La perforation mécanique exige de grandes forces difficiles à trouver dans le voisinage des têtes du tunnel, par suite de leur altitude élevée. Il faut compter environ 1200 chevaux à chaque extrémité ; ce chiffre est suffisant, vu la longueur du tunnel, le Jura-Simplon ayant prévu 1800 à 2000 chevaux pour le tunnel de base de 20 kilomètres. En l'absence de forces disponibles sur place, il faut avoir recours à un transport de force par l'électricité ; il est naturel de construire ces installations de manière à pouvoir les utiliser ensuite pour l'exploitation, ce qui ne peut avoir lieu qu'en choisissant les têtes de tunnel comme centres d'alimentation.

» Le transport de force des usines hydrauliques aux têtes du tunnel se fera par des courants triphasés en haute tension, à 13 000 ou 15 000 volts, par exemple. Ces courants triphasés, amenés à Bérisal et à Campo, y actionneront des moteurs à courants triphasés, donnant une puissance utile de 1300 à 1400 chevaux. Pendant la construction du tunnel, cette puissance sera employée pour les divers services de l'entreprise ; plus tard les moteurs triphasés seront accouplés directement avec des dynamos à courant continu produisant le courant à 1000 volts, pour l'alimentation de la ligne. La station de Bérisal alimentera ainsi les sections de la ligne, du Refuge N° 2 à Campo, et la station de Campo alimentera les sections de Bérisal à Gebbo ; la ligne du tunnel, de Bérisal à Campo, sera alimentée par les deux stations, comme nous l'avons déjà dit. »

Rendement électrique.

« En tenant compte des pertes dans les dynamos primaires aux usines hydrauliques (rendement : 0,92), dans la ligne à haute tension (0,9) et dans les transformateurs de courant triphasé en courant continu (0,83), dans le conducteur du chemin de fer (0,85), dans les moteurs des locomotives (0,80), on peut évaluer à 47 % le rendement de la transmission de force entre l'arbre des turbines et les essieux moteurs des locomotives. Ce rendement a été évalué en adoptant des rendements partiels un peu bas ; il doit être considéré comme un minimum. La perte dans le conducteur de la ligne a été admise à 15 % au maximum dans l'exploitation ordinaire ; elle est de 20 % dans les cas extraordinaires des trains de 225 tonnes.

» Les autres points de la ligne peuvent être alimentés directement en courant continu depuis les usines hydrauliques, vu leur faible éloignement. Il y a cependant deux réserves à faire. Dans le cas où l'on utiliserait les forces motrices du Rhône à Grengiols et non à Bitsch, il serait plus avantageux de desservir le centre d'alimentation de Thermen par une station comme celle de Bérissal. On pourrait aussi installer une petite station d'alimentation dans le voisinage de Campeggia, sur le versant sud, au cas où la longueur de la section Varso-Crevola serait trouvée trop longue et entraînerait des irrégularités de service.

» Dans les cas d'alimentation directe par courant continu, nous avons admis une perte de 15 % dans l'artère qui relie l'usine à la ligne du chemin de fer, ce qui donne un rendement final de 50 % environ.

» Vu la faible différence entre le rendement dans ces deux cas, nous avons effectué nos calculs avec une valeur unique de 48 %. Ce rendement doit être considéré comme un minimum qui sera sensiblement dépassé dans la réalité. »

Puissance mécanique totale des usines.

» Dans ces conditions, la puissance maximum à produire sur l'arbre des turbines de l'usine nord s'élève à $\frac{1995}{0,48} = 4180$ chevaux dans le cas d'une vitesse de 15 km. et à $\frac{1729}{0,48} = 3600$ chevaux dans le second cas. A l'usine du versant sud, ces puissances doivent être respectivement de $\frac{2145}{0,48} = 4470$ chevaux et $\frac{1879}{0,84} = 3900$ chevaux.

» En adoptant le programme précédent, on voit donc que les forces motrices de la Cairasca sont amplement suffisantes même dans le cas d'une vitesse de 15 kilomètres à l'heure.

» Il y aurait lieu cependant de créer plus tard l'usine de Crevola, au cas où la marge de 500 à 600 chevaux, qui existe à l'usine de Rosso à l'époque des basses eaux, se trouverait insuffisante.

» Dans les deux cas considérés, nous avons admis que la vitesse des trains ordinaires est égale à celle des trains express, parce que les machines des usines hydro-électriques, ainsi que les lignes d'alimentation doivent être prévues pour la puissance maximum correspondant aux trains express. Or, au point de vue des frais d'exploitation, il est assez indifférent que les lignes travaillent à pleine charge ou à moitié charge ; la seule dépense supplémentaire réside dans le prix un peu plus élevé des locomotives qui doivent naturellement être un peu plus puissantes ; mais les frais d'exploitation n'augmentent pas. C'est pourquoi nous avons jugé indispensable de ne pas abandonner un des avantages essentiels de la traction électrique.

» Dans l'établissement des devis, nous avons augmenté de 700 chevaux, les valeurs trouvées pour les puissances des usines de chaque versant ; cette puissance est envisagée comme réserve

en cas d'accidents et comme secours au cas où les besoins de la ligne seraient momentanément plus grands. Cette réserve ne peut pas rendre tous ses services à l'usine de Rosso à l'époque des basses eaux ; elle est néanmoins indispensable pour la sécurité d'un service régulier. »

Devis des installations hydrauliques.

« Les installations hydrauliques seront sensiblement du même prix, qu'il s'agisse de l'exécution du programme à vitesse modérée ou du programme à vitesse restreinte ; ce n'est que le prix de revient du cheval qui varie. La différence de 500 chevaux environ entre ces deux programmes n'est pas suffisante pour entraîner un écart de prix sensible. Nous pouvons admettre que les deux usines sont à peu près de même puissance, soit de 5000 chevaux chacun.

« En choisissant l'usine de Grengiols, au lieu de celle de Bitsch sur le versant nord, on a un canal de dérivation presque constamment à ciel ouvert et facile à construire. On se trouve dans les mêmes conditions favorables pour les forces de la Cairasca. En fixant à 160 fr. par cheval les frais de premier établissement, turbines et bâtiments compris, de ces installations, on est à l'abri de toute éventualité fâcheuse dans l'exécution des travaux. Cela représente une dépense totale de 1 600 000 fr., qu'on peut amortir et entretenir avec une annuité de 8 %, l'intérêt étant compté au 4 % ; ce taux est suffisant si l'on tient compte que les canaux de dérivation, bien conditionnés, exigent un faible entretien et que ces canaux entrent pour une somme considérable (60 % au moins) dans ces dépenses ; les turbines, dont l'usure est la plus rapide, ont une valeur relative assez faible. »

Devis des installations électriques.

« Les installations ne comprenant que des machines de grande puissance (500 kilowatts ou 700 chevaux, par exemple), le prix des installations électriques, ramené au cheval comme unité,

est assez peu élevé. En tenant compte des multiples transformations d'une partie de l'énergie électrique dépensée sur la ligne et du fait que l'autre partie y est envoyée directement sans autre transformation, on peut évaluer à 160 fr. environ le cheval absorbé par les machines primaires. Dans ce prix est compris l'établissement des lignes d'alimentation des stations secondaires. La dépense totale peut donc être évaluée à 1 600 000 fr.; on peut admettre ici un taux de 9% pour l'amortissement et l'entretien. »

Devis de la ligne d'alimentation le long de la voie.

« La dépense totale pour la ligne d'alimentation de long de la voie est de 1 100 000 fr. environ; nous avons admis que la ligne entière est constituée par du cuivre dont la valeur représente le 60% environ de la somme ci-dessus. En ayant égard à la valeur intrinsèque du cuivre dont la ligne est formée, on peut se contenter du 7% pour l'amortissement et l'entretien, la capitalisation se faisant au 4%.

» Dans ce qui précède, il n'y a à faire de différence entre le service à 12 km. et celui à 15 km. que pour la partie électrique proprement dite. La différence serait en tout de 1000 chevaux environ, représentant un capital de premier établissement de 160 000 fr. et une dépense annuelle de 14 400 fr. »

Dépenses annuelles.

» Les dépenses annuelles du service électrique de la traction, locomotives non comprises, s'établissent donc comme suit dans les deux cas considérés :

	Vitesse (express et omnibus) de	
	12 km. à l'heure.	15 km. à l'heure.
Partie hydraulique (8%) . .	Fr. 128 000	Fr. 128 000
Partie électrique (9%) . . . »	144 000	» 129 600
Lignes d'alimentation (7%) . . »	77 000	» 77 000
Totaux.	Fr. 349 000	Fr. 334 600

IV. Comparaison des frais d'exploitation du projet de tunnel de base du Jura-Simplon (1891) et du projet Masson avec traction électrique.

A. Projet de la Compagnie du Jura-Simplon (1891).

La longueur de la ligne, d'après le projet de la Compagnie Jura-Simplon (1891), sera de Gamsen à Domo de 43 km.; la pente maximum dans le tunnel est de $6\frac{1}{2}$ ‰ et de la tête sud à Domo les pentes sont de 22 ‰.

Nous supposons la double traction sur les rampes de 22 ‰ au moyen de locomotives du poids de 34 100 kg. avec tender de 22 650 kg., pouvant remorquer en double traction sur les rampes de 22 ‰ un train de 250 tonnes, brutes, non compris les machines, et le même train en simple traction sur le reste du parcours.

Les frais d'exploitation d'une ligne de chemin de fer se composent :

1. Des frais du service de la traction.
2. Des frais du service de l'exploitation proprement dite.
3. Des frais du service de la voie.
4. Des frais d'administration et divers.

1. *Service de la traction.* — En 1891, les dépenses pour ce service par kilomètre de locomotive ont été les suivantes sur les lignes du Jura-Simplon :

Frais généraux	Fr. 0,0215
Combustible	» 0,3342
Mécaniciens et chauffeurs.	» 0,1444
Graissage et réparations des locomotives	» 0,1502
Service des wagons et voitures	» 0,1361
Total	Fr. 0,7864

soit 80 cent.

Pour le projet du Jura-Simplon (1891) nous admettons que

la consommation de combustible par kilomètre de locomotive sera la même que celle du réseau Jura-Simplon, ce qui est en faveur du projet considéré, mais nous majorons la dépense de charbon de la différence des prix du charbon à Brigue ou à la frontière. Ce qui nous donnera pour le projet avec le tunnel de base :

Dépense de traction par kilomètre-locomotive : Fr. 0,85.

Le train comporte de Domo à Gamsen :

18 km. avec rampes de 22 ‰ et double traction pour chaque train.

25 km. avec rampes plus faibles ; train en simple traction.

Nombre de km. loc. par train, de Gamsen à Domo = $(2 \times 18) + 25 = 61$ km. loc.

Dépense de traction par train de Gamsen à Domo ou de Domo à Gamsen = 61 km. loc. \times 0.85 = Fr. 51,85.

2. *Service de l'exploitation.* — Les dépenses de ce service comprennent le service des trains et le service des gares. Pour la Compagnie du Jura-Simplon ces dépenses ont été les suivantes, en 1891 :

Par kilomètre de train. Personnel des trains	Fr. 0,163
Autres dépenses	» 0,542
Total	Fr. 0,705

Les dépenses du personnel des trains seront plus élevées sur la ligne du Simplon que sur le reste du réseau du Jura Simplon à cause des pentes de 22 ‰ qui nécessitent davantage de garde-freins ; elles peuvent être estimées à Fr. 0,20 par kilomètre train, au lieu de Fr. 0,163.

Les dépenses des gares se composent d'abord des dépenses des gares internationales de Domo et de Gamsen (Brigue) qui peuvent être estimées à 130 000 fr. par an pour un trafic restreint et à 170 000 fr. pour un trafic égal à celui du Gothard actuel, puis des dépenses des autres stations que nous estimons à 10 000 fr. par gare et par an. Nous aurons donc :

Dépenses du personnel du train : Fr. 0,20 par kilomètre train. Autres dépenses de 160 000 fr. à 200 000 francs par an.

3. *Service de la voie.* — Les frais de service de la voie peuvent être admis analogues à ceux du réseau du Jura-Simplon en 1891, soit à 3350 fr. par kilomètre de ligne. Il faut remarquer ici que pour le trafic restreint annuel de 100 000 voyageurs et 100 000 tonnes de marchandises, il suffira de poser une seule voie dans le grand tunnel et que pour un trafic égal à celui du Gothard actuellement il faudra poser la double voie. Il y aurait lieu de tenir compte encore d'une surveillance spéciale dans le tunnel et de la ventilation, mais pour ne pas charger le projet avec tunnel de base, nous ferons abstraction de ces dépenses supplémentaires probables.

4. *Administration générale et divers.* — Ces dépenses seront les mêmes pour les deux projets. Nous admettrons une dépense de 150 000 fr. par an pour le trafic restreint et de 200 000 fr. pour un trafic analogue à celui actuel du Gothard.

Nous sommes maintenant en mesure d'évaluer les frais d'exploitation de Gamsen à Domo par le projet de la Compagnie du Jura-Simplon (1891) dans les deux alternatives de trafic admises.

a) *Première alternative.* — Cas d'un trafic de 100 000 voyageurs et 100 000 tonnes de marchandises.

Pour un pareil trafic restreint il suffira de cinq trains par jour dans chaque sens. Deux de ces trains seraient directs et les autres mixtes. Nous aurions ainsi annuellement 3650 trains.

Nous aurons donc :

Traction. 3650 trains à 51 fr. 85 = Fr. 189 252 50

Exploitation : Service des trains

3650 \times 43 \times 0 fr. 20 = » 31 390 —

Service des gares » 160 000 —

Service de la voie. 43 km. à 3350 = » 144 050 —

Administration et divers » 150 000 —

Total . . Fr. 674 692 50

soit 675,000 fr. par an.

b) *Deuxième alternative.* — Cas d'un trafic de 200 000 voyageurs de 500 000 tonnes de marchandises.

Pour transporter un nombre de 200 000 voyageurs, correspondant à celui actuel du Gothard, il faudra cinq trains de voyageurs dans chaque sens ; nous admettrons que de ces cinq trains trois sont mixtes et enlèvent en moyenne 50 tonnes de marchandises chacun. On écoulera ainsi : 365 — 56 dimanches et fêtes = 309 jours $\times 50 \times 6 = 92\,700$ tonnes.

Pour le reste des marchandises, soit 408 300 tonnes, il faudra des trains de marchandises.

Admettons que le poids mort moyen d'un wagon de marchandise soit de 7 tonnes et que comme au Gothard chaque wagon reçoive une charge moyenne de 4 tonnes de marchandise nettes. Nous aurons pour chaque tonne nette $\frac{7+4}{4}$ = 2,750 tonnes de charge brute. — Nos trains de marchandises qui sont de 250 tonnes, poids brut, emporteront donc $\frac{250}{27,5} = 90$ tonnes nettes de marchandises, et pour le transport de 408 300 tonnes il faudra mettre en marche :

$$\frac{408\,300}{90} = 4537 \text{ soit } 4550 \text{ trains.}$$

Il faudra donc pour le trafic prévu :

3650 trains voyageurs et 4550 trains marchandises, soit 8200 trains par an.

Nous aurons alors comme frais d'exploitation :

Traction. — 8200 trains à 51 fr. 85. . . = Fr. 425 170 —

Exploitation. — Service des trains = 8200 \times

43 $\times 0,20$ » 70 520 —

Service des gares » 200 000 —

Voie. — Double voie du tunnel. — 63 km. \times

3550. = » 212 050 —

Administration et divers » 200 000 —

Total . . . Fr. 1 107 740 —

soit 1 110 000 fr. par an.

B. Projet Masson avec traction électrique.

Longueur : 50 kilomètres.

1. *Service de la traction.* — Le combustible est représenté par les frais d'entretien et de service des installations hydrauliques et électriques ; ces frais sont estimés comme suit par M. Palaz.

Installations hydrauliques :

Coût : 1 600 000 fr. à 3 % par an . . = Fr. 48 000

Installations électriques :

Coût : 1 600 000 fr. à 5 % par an . . = » 80 000

Canalisations électriques :

Coût : 1 100 000 fr. à 3 % par an . . = » 33 000

Total par an . . Fr. 161 000

Je dois faire remarquer que cette somme qui correspond au charbon est la même pour le trafic réduit que pour le trafic complet et qu'elle ne comprend que le service mais non pas l'intérêt et l'amortissement du capital de construction.

Pour le personnel des locomotives électriques les trains mettront le double de temps de parcours de Gamsen à Domo que ceux du projet de la Compagnie Jura-Simplon (1891). En outre les trains seront tous remorqués en double traction. Mais, par contre, il suffira d'un conducteur par locomotive (au lieu de deux hommes) et d'un employé de réserve pour les deux machines donc : trois employés par train.

Les frais du personnel des machines seront donc les $\frac{3}{2} \times 2$

soit le triple de ceux du projet de base dont la ligne sera exploitée en simple traction soit par train :

43 km. $\times 3 \times 0,145$ = Fr. 18 70

Les frais de graissage et entretien des loco motives seront les mêmes par kilomètre locomotive que pour le tunnel de base, soit par train : $2 \times 50 \text{ km.} \times \frac{4,05}{0,15}$. . . = Fr. 15 —

Les dépenses pour l'administration du service de la traction et pour l'entretien des voitures et wagons seront les mêmes par kilomètre-train que pour le projet du Jura-Simplon (1891); donc par train : 50 km. \times 0.16 . . = Fr. 8 —

Les dépenses de la traction se résument comme suit : dépense pour la force motrice électrique Fr. 161 000 par an.

Personnel, entretien et graissage
des locomotives, entretien des voitures
et wagons et frais généraux : 18 fr. 70

+ 15 + 8 francs = Fr. 41 70 par train.

2. *Service de l'exploitation.* — Les trains mettant le double de temps de parcours la dépense du personnel des trains sera double de celle du projet de base. Il faudra en outre augmenter cette dépense doublée de 25 % pour tenir compte des gardesfreins supplémentaires nécessaires pour les pentes de 60 ‰.

La dépense par train pour le personnel sera ainsi de :

2 \times 43 km. \times 0 fr. 25. . = Fr. 21 50

La dépense des gares de Gamsen et Domo sera la même que par le tunnel de base, donc :

pour le trafic restreint de Fr. 130 000 par an.

et pour le trafic complet de. . . . » 170 000 »

La dépense des 8 autres gares sera de 10 000 francs par gare et par an.

3. *Service de la voie.* — Nous admettons que l'entretien des crémaillères est compensé par la suppression des patinages des machines et par une vitesse de marche réduite; et que le service de la voie coûte le même prix par kilomètre de ligne dans les deux projets comparés, à l'exception de l'enlèvement des neiges pour lequel nous admettons les sommes dépensées en moyenne au Gothard jusqu'à ce jour, soit 30 000 fr. par an.

Les frais annuels de ce service seront donc :

Entretien des voies . . 50 km. \times 3350 fr. = Fr. 167 500

Enlèvement des neiges. » 30 000

Fr. 197 000

4. *Frais d'administration et divers.* — Ils seront les mêmes pour les deux projets.

En récapitulant, nous aurons dans les deux alternatives de trafic les dépenses suivantes :

a) *Première alternative.* — Cas d'un trafic de 100 000 voyageurs et 100 000 tonnes de marchandises.

Il faudra pour ce trafic 5 trains par jour dans chaque sens (2 express et 2 mixtes).

Traction. — Frais pour la force

électrique. Fr. 161 000

Personnel et entretien 3650

trains \times 41 fr. 70 = . . . » 152 205 Fr. 313 205

Exploitation. — Personnel des

trains 3650 trains \times 21 fr. 50 = Fr. 78 475

Autres dépenses (gares) . . . » 210 000 » 288 475

Voie » 197 500

Administration et frais divers » 150 000

Dépense totale . . . Fr. 949 180

soit 950 000 fr. par an.

b) *Seconde alternative.* — Cas d'un trafic de 200 000 voyageurs et 500 000 tonnes de marchandises par an.

Ce trafic nécessite, comme l'autre projet, 8200 trains par an.

Traction. — Frais pour la force

électrique. Fr. 161 000

Personnel et entretien : 8200

trains \times 41 fr. 70 = . . . » 341 940 Fr. 502 940

Exploitation. — Personnel des

trains, 8200 trains \times 21 fr. 50 = Fr. 176 300

Personnel des gares et divers. . » 250 000 » 426 300

Voie » 197 500

Administration et frais généraux » 200 000

Dépense totale . . . Fr. 1 326 740

soit 1 330 000 fr. par an.

Résumé. — Les frais d'exploitation seraient ainsi par kilomètre de ligne :

	Projet de la compagnie. Jura-Simplon (1891).	Projet Masson.
Trafic restreint	Fr. 15 700	Fr. 19 000
Trafic égal à celui du Gothard	» 25 800	» 26 600

V. Examen des critiques faites au projet Masson.

Nous sommes maintenant en mesure de discuter les objections faites au projet Masson dans la dernière conférence inter-cantonale du Simplon. Ces objections sont au nombre de trois, savoir : la durée trop longue du parcours par les trains, les frais d'exploitation trop élevés, enfin les conditions climatiques défavorables.

1^o *Durée du parcours.* Les trains express par le tracé du Jura-Simplon (1891), feront le parcours de Gamsen à Domo en une heure. Ils traverseront un souterrain de 20 kilomètres de longueur avec les inconvénients connus de fumée et de chaleur, et à la sortie, descendront une pente de 22⁰/₀₀ sur 18 kilomètres. Admettons cette durée de parcours, qui est certainement un minimum.

Par le projet Masson, les trains express peuvent aller de Gamsen à Domo sans arrêt, et si nous admettons des vitesses de marche de 15 kilomètres à l'heure sur les crémaillères, la durée du parcours sera de 2 ¹/₂ heures. On perd ainsi 1 ¹/₂ heure de temps. Mais il est permis de dire que c'est l'état actuel de la question, et que si, comme l'indique M. Schneider du chemin de fer du Hartz, dans sa lettre du 5 décembre 1892, les vitesses sur les crémaillères peuvent être admises à 25 kilomètres, la durée de parcours sera sensiblement diminuée dans un avenir prochain. Ce sera à la Compagnie du Jura-Simplon et à la Compagnie italienne des chemins de fer de la Méditerranée à accélérer la marche de leurs trains sur leurs réseaux

de manière à gagner en vitesse les lignes concurrentes par le Gothard.

Du reste, d'après les chiffres donnés par la Compagnie du Jura-Simplon, ce passage, avec 2 1/2 heures de durée de parcours, ne dépasserait celle du Gothard ni pour le parcours de Paris à Milan, ni pour celui de Paris à Plaisance, ni pour celui de Paris-Gênes, ni enfin pour celui de Calais-Gênes. Elle serait supérieure, et de une heure seulement, pour le parcours de Calais à Milan. Mais les voyageurs directs de Paris ou de Calais pour Milan ou pour Gênes nous intéressent certainement moins que ceux des cantons romands et du bassin du Léman, qui eux auront incontestablement tout avantage à se rendre en Italie par le Simplon plutôt que par le Gothard ou le Cenis.

2^o *Frais d'exploitation.* Les calculs qui précèdent nous montrent que, en tenant compte des frais d'exploitation seulement, le prix d'une tonne de marchandise ou d'un voyageur à travers le Simplon serait :

	Projet de la Compagnie Jura-Simplon (1891). Projet Masson.	
Trafic restreint	Fr. 3 40	Fr. 4 75
Trafic égal à celui actuel du Gothard par tonne-mar- chandise ou par voyageur	» 1 60	» 1 90

Mais il faut compter sur les temps présents et si pour le projet de base de la Compagnie du Jura-Simplon (1891), devisé à 90 millions, nous obtenons 30 millions de subventions, il restera à servir les intérêts d'un capital privé de 60 millions ; tandis que pour le projet Masson ce capital est de 30 millions seulement. Donc si dans les prix de transport nous faisons entrer l'intérêt et l'amortissement du coût de construction au taux de 5 0/0 par an, nous trouvons comme prix à faire pour les transports :

Projet de la
Compagnie Jura-Simplon (1891). Projet Masson.

Trafic restreint réduit	Fr. 18 40	Fr. 12 25
-------------------------	-----------	-----------

Trafic égal à celui actuel du

Gothard par tonne-mar-

chandise ou par voyageur	» 5 90	» 4 05
--------------------------	--------	--------

Les critiques faites contre le projet Masson au point de vue des taxes se retournent donc contre leurs auteurs.

3. *Conditions climatiques.* — Nous avons vu que les altitudes des têtes du tunnel seraient probablement :

de 1410 et 1370 m.

celles du Gothard sont de. 1109 » 1145 »

et celles du Mont Cenis de 1245 » 1335 »

Il est à remarquer que à altitude égale le climat est beaucoup moins rude dans la vallée de la Saltine que dans celle de la Reuss ; en sorte que l'altitude de 1400 au Simplon correspond à peu près comme climat à celle de Göschenen. En outre avec des rampes de 60 ‰, la longueur des lignes exposées aux altitudes supérieures sera très faible.

On peut admettre qu'au point de vue climatique le tracé proposé par M. Masson est à peu près dans les mêmes conditions que le Gothard et le Mont-Cenis et dans une situation analogue à celle du passage de Vallorbes à Pontarlier dans le Jura.

VI. Résumé et conclusions.

Nous voyons donc, en résumé, que le tracé proposé par M. Masson peut suffire à un trafic aussi considérable que celui qui a lieu actuellement sur la ligne du Gothard. Dans ces conditions elle sera évidemment une ligne internationale puisqu'elle n'exigera aucun transbordement ni même de modification des trains y aboutissant, sauf les changements de machines.

Les frais d'exploitation annuels pour un trafic équivalent à celui qui existe au Gothard ne dépassent ceux du tracé avec tunnel de base de 20 km. que de 220 000 fr. par an ; par contre ce tracé économise la somme énorme de 50 millions pour sa construction.

Dans l'état actuel de la science ce tracé permet le passage de la montagne en 2 $\frac{1}{2}$ heures, donc plus rapidement que le passage actuel au Gothard par les trains express.

Au point de vue climatérique il est tout aussi favorable que les passages du Mont-Cenis et du Gothard.

Il présente le grand avantage de pouvoir être exécuté avec les ressources que nous pouvons actuellement espérer obtenir.

Il n'empêche aucunement l'exécution d'un tunnel de base, car si le trafic se développe au point qu'un tunnel de base devienne nécessaire pour le débiter, les sommes nécessaires pour la construction de celui-ci se trouveraient alors facilement.

Mon sentiment est que si nous voulons percer le Simplon il faut ne compter que sur nos ressources suisses et qu'il ne faut pas espérer obtenir des subventions étrangères. Il faut agir sans plus tarder, car les raccourcis de lignes en Allemagne, en France, en Italie et en Suisse ont la tendance de se construire actuellement dans la direction du Gothard et au bout de peu d'années les intérêts convergents vers ce passage seront tels qu'il sera impossible d'exécuter le Simplon, même par un tracé économique. Ne voyons-nous pas déjà Berne et Neuchâtel tourner leurs regards vers le Gothard ; bientôt Fribourg les suivra et nous n'aurons plus pour le passage du Simplon que les cantons de Vaud et du Valais.

Travaillons pour le présent et laissons le temps faire son œuvre d'avenir.





TRAVERSÉE DU SIMPLON

avec tunnel de faite et voies d'accès à crémaillères.

PROJET MASSON.

Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes.

Planche 10.



Bureau topographique fédéral. Reproduction réservée.

Longueur du tracé en trait plein 53,700^m, longueur du tracé avec la variante en pointillé 50,100^m.

Echelle 1:100 000.

1 0.5 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 Kilomètres

Imp. de l'établissement topogr. Kümmerly, f^{rs}, Berne. Report sur pierre. 1893.



PROFIL EN LONG

Echelles { Longueurs 1:5000
Hauteurs 1:5000



Plan de comparaison.
Cotes de la plateforme.
Kilométrage des Gamsen.
Paliers, pentes et rampes
et cumulées.

